

На правах рукописи

Коротков Илья Петрович

**СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ
СРЕДЫ ПО ДАННЫМ МНОГОВОЛНОВОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ В
УСЛОВИЯХ СЛОЖНО ПОСТРОЕННЫХ СРЕД**

25.00.10 Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2012

Работа выполнена в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова

Научный руководитель: доктор технических наук,
Жуков Александр Петрович

Официальные оппоненты: Потапов Олег Александрович,
доктор технических наук, профессор,
ООО «Геофизическое Партнерство»,
консультант

Захарова Галина Александровна,
кандидат геолого-минералогических наук,
Закрытое акционерное общество «Пангея»,
ведущий геофизик

Ведущая организация: Российский государственный
геологоразведочный университет имени
Серго Орджоникидзе

Защита состоится 24 октября 2012 г. в 14:30 на заседании Диссертационного совета Д 501.001.64 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, ГЗ МГУ, зона «А», геологический факультет, ауд. 308.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (ГЗ МГУ, зона «А», 6 этаж).

Автореферат разослан « » сентября 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Никулин Борис Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Изображение исследуемой геологической среды является основным результатом обработки полевых сейсмических записей, полученных при проведении работ по методике многократных перекрытий. Такими изображениями являются, как правило, амплитудные (волновые) разрезы и срезы, а также кубы, позволяющие наиболее полно отобразить исследуемые объекты. Суммарные временной или глубинный разрезы получают путем суммирования сейсмотрасс после введения в них статических и кинематических поправок. От того, насколько точно рассчитаны эти поправки, зависит качество изображения среды, проявляющееся, прежде всего, в его разрешенности. Неточность введенных поправок проявляется в том, что процедура суммирования сейсмотрасс работает подобно низкочастотному фильтру, и чем ниже точность определенных поправок, тем меньше детальность сформированного изображения. В еще большей степени неточность введенных поправок, искажающих сигналы на суммируемых трассах, проявляется при преобразовании волновых изображений в изображения атрибутов, полученных путем решения обратных динамических задач.

В многоволновой сейсморазведке (МВС) изучение и учет статических поправок за неоднородности в верхней части разреза (ВЧР) имеет первостепенное значение. Обусловлено это тем, что для поперечных волн характерны низкие скорости в ВЧР, в несколько раз меньшие, чем для продольных волн. Это предопределяет большие величины статических поправок, превышающие видимый период импульса, которые в ряде случаев невозможно определить с приемлемой точностью. Скоростные характеристики пород ВЧР на поперечных волнах ведут себя при этом более непредсказуемо, чем на продольных волнах, а наклон лучей в пределах ВЧР для них, в отличие от продольных волн, является скорее правилом, а не исключением. Определение и учет неоднородностей ВЧР на поперечных волнах существенно затрудняются также из-за сильной дисперсии скоростей, обусловленной повышенным затуханием этих волн. К этому следует еще добавить тот немаловажный факт, что отношение сигнал/помеха для поперечных волн существенно ниже, чем для продольных, в связи с тем, что регистрируются они обычно на фоне интенсивных объемных волн других типов. Всё это требует внимательного подхода к анализу априорных статических поправок и их учету при формировании изображений среды на непродольных отраженных волнах.

Расчет априорных кинематических поправок для поперечных и обменных отраженных волн затруднен из-за скудной информации о распределении скоростей поперечных волн на исследуемой территории. Эту информацию, а также данные об анизотропии скоростей, приходится нередко добывать путем косвенных измерений, а не напрямую – путем проведения ВСП.

Характерной чертой современной нефтяной и газовой сейсморазведки является комплексирование наблюдений на продольных РР и обменных PS отраженных волнах. Одним из основных результатов работ по МВС являются в настоящее время временные и глубинные разрезы в виде зависимости амплитуд от времени (волновые разрезы) по волнам РР и PS. На этапе интерпретационной обработки получают данные о трещиноватости и пористости, позволяющие выявлять коллекторы углеводородов. Расщепление волн на участках их распространения в виде S-волны позволяет определить направление простирания плоскостей трещин и плотность трещин.

Наметившийся в последние десятилетия отход от использования поперечных волн был обусловлен, главным образом, отсутствием доступных источников чисто поперечных волн и существенным удорожанием работ в случае их применения. Роль метода поперечных волн все больше берут на себя обменные волны, обладающие рядом существенных преимуществ по сравнению с поперечными волнами. Для их возбуждения не требуется специальных источников, а у отраженных обменных волн отрезки луча, проходимые как S-волны, более вертикальны, чем у монотипных поперечных волн, что позволяет с их помощью получать более детальные разрезы. Важен тот факт, что частотный состав обменных волн близок к частотному составу продольных волн, в результате чего их разрешающая способность существенно выше, чем у монотипных поперечных волн. Информацию о скоростях S-волн получают нередко косвенным путем, используя по методике AVO амплитудные характеристики волн РР.

Однако у обменных отраженных волн по сравнению с монотипными отраженными волнами имеется существенный недостаток, обусловленный несимметричностью их лучевой схемы. В условиях сложно построенных сред это создает большие трудности при использовании стандартных технологий, реализованных в промышленных обрабатывающих системах. Трудности эти усугубляются сложностью учета статических поправок, которые приходится раздельно определять и вводить для продольных и поперечных волн.

Отсутствие доступных универсальных стандартных пакетов обработки данных МВС обусловило потребность в разработке специализированных программных пакетов обработки, позволяющих в производственном режиме осуществлять обработку данных наземной МВС. Этим объясняется *актуальность* темы защищаемой диссертации.

Цель работы

Разработка эффективной методики и математического обеспечения для коррекции статических поправок и учета геометрии лучей обменных волн при построении изображений среды в многоволновой сейсморазведке.

Основные задачи

1. Оценить эффективность интерактивного учета неоднородной ВЧР при определении статических поправок для монотипных поперечных и обменных волн по сравнению с стандартными методами.
2. На основе преобразования Кихгоффа разработать алгоритм миграции до суммирования для волн разных типов.
3. Разработать методику интерактивного анализа скоростей многоволновой миграции до суммирования для построения и уточнения скоростных моделей.
4. Опробовать в производственном режиме в условиях сложно построенных сред разработанную технологию построения временных и глубинных изображений, а также параметризации данных МВС.

Защищаемые положения

1. Предложенный способ интерактивной коррекции учета статических поправок при обработке монотипных и обменных PS волн обеспечивает улучшение изображения среды в многоволновой сейсморазведке.
2. Использование согласованных сумм специального вида, полученных по данным ОТВ и ОТП, позволяет эффективно учитывать неоднородность ВЧР на поперечных и обменных волнах.
3. Предложенный подход к интерактивной фокусировке волн разных типов, опирающийся на анализ спектров скоростей, позволяет повысить точность построения глубинной модели.

Научная новизна

1. Предложен подход, использующий согласованные суммы ОТВ и ОТП специального вида, позволяющий учитывать неоднородную ВЧР при наблюдениях МВС.
2. Создан оригинальный инструмент анализа скоростей миграции и оптимального фокусирования волн разных типов, опирающийся на интерактивный контроль адекватности определяемых скоростных полей.
3. Впервые получены изображения среды на обменных отраженных волнах типа PSSS и PSSP, сопоставимые по качеству с изображениями на продольных отраженных волнах и обменных волнах типа PS.

Практическая значимость

В результате применения разработанной технологии получены качественно новые сведения о геологическом строении участков, расположенных в Восточной Сибири и в других сложно построенных районах. Разработанная технология позволяет проводить обработку данных наземной МВС в производственном режиме с использованием специализированного пакета учета неоднородной ВЧР и дополнительных программ к широко распространенным обрабатывающим комплексам стандартной обработки.

Апробация работы

Основные научные и практические результаты диссертационной работы докладывались на следующих международных конференциях: 65th Conference EAGE, Stavanger, Norway, 2003; 68th Conference EAGE, Vienna, Austria, 2006; Геомодель 2009, Геленджик, Россия; 72th Conference EAGE, Barcelona, Spain, 2010; Второй международном геофизическом семинаре по вопросам тенденций развития сейсморазведки, г. Речица, Беларусь, 2011.

Публикации

По теме диссертации имеется 5 публикаций и одна монография.

Структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Материалы диссертации изложены на 120 страницах машинописного текста и проиллюстрированы 48 рисунками. Список литературы содержит 58 наименований.

Личный вклад автора

Исследования и разработки, положенные в основу диссертации, выполнялись автором в период 2001-2011 г.г. Лично автору принадлежит постановка задач, участие в разработке алгоритмов учета неоднородностей и миграции записей многоволновой сейсморазведки и их адаптации для случая 3D, а также обменных отраженных волн с обменом на промежуточных границах. Кроме того, им проводились оценка эффективности разработанного математического обеспечения на математических моделях и экспериментальных данных, а также геологическая интерпретация результатов, полученных в условиях сложно построенных сред при производственном опробовании разработанных технологий.

Благодарности

Автор приносит искреннюю благодарность своему научному руководителю д.т.н. Жукову А. П. за внимание и поддержку на всех этапах работы. Автор благодарен к.т.н. Козыреву В.С. за критический анализ результатов и плодотворные дискуссии в период исследований. Автор благодарит сотрудников лаборатории МВС ВНИИГеофизики к.т.н. Попова В.В. , к.т.н. Кузнецова В.М., сотрудников ООО «ГСД» Колпакова А.М., Нурмухамедова Т.В. за совместную работу по созданию и практическому внедрению программного обеспечения. Отдельно автор выражает глубокую признательность д.т.н. Шехтману Г. А. за помощь, консультации, ценные замечания, советы и творческое участие.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Во введении кратко излагается состояние проблемы, обосновывается актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследований, отмечены практическая значимость и научная новизна работы, указаны объем и структура диссертации.

Глава 1. Основные проблемы обработки данных многоволновой сейсморазведки.

В главе рассматриваются основные проблемы обработки данных многоволновой сейсморазведки, обосновывается постановка задач и дается обзор известных способов их решения.

Развитие технологии обработки данных многоволновой сейсморазведки (МВС) осуществляется в соответствии с основным назначением этого направления, которое состоит в повышении эффективности решения структурных задач и изучения вещественного состава отложений.

Основную роль в различных модификациях МВС продолжают играть продольные волны. Этим определяется стремление придерживаться таких технологий, в которых отдают предпочтение привлекательному с экономической точки зрения совместному возбуждению и регистрации волн разных типов при условии уверенного прослеживания каждой из целевых волн. Оптимизация приемов возбуждения и регистрации поперечных волн, а также отсутствие проблем с возбуждением обменных волн, позволили в части глубинности исследований приблизиться к возможностям сейсморазведки на монотипных продольных волнах. При этом общая геологическая эффективность путем комплексирования волн разных типов существенно возросла, особенно при изучении анизотропных характеристик разреза.

Обработка данных многократных перекрытий продолжительное время ориентировалась на максимальное использование математического аппарата, разработанного применительно к продольным отраженным волнам. При этом опирались на устоявшиеся принципы улучшения отношения сигнал/помеха и повышения разрешенности записи. Однако при регистрации непродольных волн сразу же возникает проблема достижения еще большего выигрыша в отношении сигнал/помеха по сравнению с продольными волнами, поскольку на исходных записях обменных и поперечных волн это отношение занижено по сравнению с продольными волнами. Поэтому при исследованиях на обменных и поперечных волнах тщательному выбору процедур обработки, способных обеспечить дополнительный выигрыш в отношении сигнал/помеха, уделяют максимальное внимание на всех этапах

обработки. В наибольшей степени на эффективность накапливания записей непродольных волн влияет учет статических и кинематических поправок. В отличие от продольных волн, успеха при коррекции обменных и поперечных волн удастся достичь лишь после ряда итераций с учетом изменений поправок отдельно для разных ПП и ПВ вдоль линии наблюдений и для разных глубин отражающих горизонтов.

Основной особенностью обработки поперечных волн типа *SH* длительное время являлась процедура оптимизированного вычитания записей, получаемых в каждой точке приема при возбуждении противоположно направленных импульсных воздействий. Однако установлено, что при использовании виброисточников для возбуждения поперечных волн изменение направления горизонтального воздействия на среду не приводит к обращению полярности возбуждаемых колебаний (Юшин, 2007; Куликов, 2008). В таком случае чистота возбуждения поперечных волн обеспечивается и без возбуждения разнонаправленных воздействий. Тем самым, отпадает необходимость и в соответствующей процедуре обработки при возбуждении колебаний виброисточником.

Основной особенностью обработки обменных отраженных волн типа *PS* является суммирование записей по несимметричным выборкам сейсмотрасс, обусловленное несимметричностью падающих и восходящих лучей. При использовании обменных волн типа *PSSP*, испытывающих двойной обмен на преломляющих границах, лучи падающих и отраженных волн становятся симметричными, однако на этапе обработки возникают другие проблемы, обусловленные сложностью выделения таких волн на фоне отражений, имеющих близкую к ним интенсивность и/или близкие к ним кинематические параметры.

Существенным фактом, неоднократно подтвержденным при проведении МВС в самых разных геологических условиях, является совпадение опорных отражающих границ на различных типах волн. На этапе интерпретационной обработки этот факт имеет решающее значение, позволяя достаточно уверенно отождествлять волны разных типов на временных и глубинных разрезах, а также определять затем важные для геологической интерпретации параметры волн, относящиеся к одним и тем же целевым объектам. Подтверждение важных для интерпретации признаков на разрезах, полученных на различных типах волн, существенно повышает надежность и достоверность выделения перспективного объекта. Однако на сходстве признаков по различным типам волн преимущество использования МВС далеко не кончается. При высоком сходстве между собой волновых разрезов различных типов нередко информативными являются и их различия, проявляющиеся в виде отдельных особенностей разреза, полученного по волнам определенного типа (Куликов, 2008). Так, например, отметим более уверенное выделение и прослеживание поверхностей раздела косослоистых отложений по данным поперечных и обменных волн в терригенных разрезах; более высокую дифференцированность и

контрастность границ для молодых осадков на волновых разрезах в меловых отложениях Западной Сибири выше по разрезу.

Определение сейсмических скоростей в МВС является одной из основных проблем на всех этапах обработки и при последующей интерпретации. Совместные наблюдения различных пар волн позволяют определять величину $\gamma = V_S/V_P$, характеризующую вещественный состав отложений. Сочетание данных о скоростях V_S , V_P и коэффициенте Пуассона используют для прогнозирования литологии и характера флюидонасыщения. В пористых средах замещение воды углеводородами, главным образом – газом, приводит к снижению скоростей P -волн при незначительном изменении скоростей S -волн. Поэтому в однородных пористых коллекторах нефтегазонасыщенные участки отличаются от водонасыщенных отрицательными аномалиями коэффициента Пуассона (или положительными аномалиями величины γ , что равнозначно). Знак аномалий может быть обратным в том случае, когда нефтегазонасыщение связано с локальным проявлением пористости, обусловленным, в частности, трещиноватостью в карбонатных породах. Изменение трещиноватости пород оказывает наибольшее влияние, нередко превышающее влияние флюидонасыщенности, на значения скоростей S -волн. Скоростные аномалии в таких случаях легче расшифровать путем комплексного анализа на различных типах волн. Повышение точности определения волн разного типа позволяет при этом более уверенно судить о литологии и флюидонасыщенности слабоконтрастных сред. В равной мере значимость использования величины γ относится и к терригенным отложениям, в которых значение этой величины в наибольшей степени обусловлено глинизованностью отложений. Определение глинистости в сочетании с другими параметрами, такими, как пористость, весьма важно при изучении распределения в разрезе коллекторов углеводородов и покрышек.

Важной проблемой обработки данных МВС является сохранение динамических характеристик записи, позволяющее осуществлять динамический анализ волн, практическое значение которого трудно переоценить в связи с тем, что сейсмические скорости и такой информативный параметр, как поглощение волн, по-разному реагируют на изменение литологии и флюидонасыщенности коллекторов. Отсутствие аномалий типа «яркого пятна» на волновых разрезах поперечных волн является хрестоматийным примером повышения надежности выделения нефтегазонасыщенного интервала геологического разреза. Ясно, что повышение точности определения статических и кинематических поправок, вводимых перед накоплением в записи на различных этапах обработки, неизбежно сказывается не только на прослеживании кинематических параметров волн, но и динамических параметров. Переход от амплитуд к определению импедансов путем динамической инверсии акустических и динамических параметров волн разных типов, наметившийся в последние годы во всем мире, позволил в полной мере убедиться в целесообразности и

осуществимости использования для практических целей потенциальных возможностей МВС.

В последние десятилетия наибольшие успехи в развитии МВС достигнуты за рубежом, где это направление исследований получило название *многокомпонентная сейсморазведка* (multicomponent seismic exploration, multicomponent seismic). В последнее время все чаще за рубежом используют термин “full-wave seismic” (полноволновая сейсморазведка). Примечательно, что в одном из недавних обзоров состояния МВС среди множества предприятий и фирм, занимающихся развитием этого актуального направления, не указана ни одна российская организация (Stewart, 2009), что вполне закономерно отображает спад объема и снижение уровня исследований в постсоветской России. Среди перечисленных в данном обзоре организаций, занимавшихся с конца 1980-х годов развитием МВС, имеются следующие известные в мире академические, государственные и частные предприятия и консорциумы, например: Reservoir Characterization Project (RCP) at Colorado School of Mines, CREWES Project at the University of Calgary, EDGER Forum at UT-Austin, ChevronTexaco, ExxonMobil, Shell. Последние в этом списке компании (подчеркнуты) представили примеры использования изображений среды, полученные путем миграции обменных отраженных волн типа *PS*. Наибольшее применение за рубежом нашли преобразования в изображение записей обменных отраженных волн типа *PS*. Однако все больший интерес стали проявлять и к обменным волнам другого типа, испытывающим обмен на отражающей границе (*SP*), а также на промежуточных границах (*PSS*, *PSP*). Обоснование целесообразности применения обменных волн с обменом на промежуточных границах с примерами формирования изображений среды для соответствующих волн опубликовано по результатам исследований, выполненных во ВНИИГеофизике и ГСД при участии автора (Шехтман, Кузнецов, Жуков, Коротков и Бурлаков, 2006).

В период 1999-2004 г. за рубежом было выполнено более 200 проектов по многоволновым наблюдениям (Gaiser, Strudley, 2004) и предположительно такой же объем работ выполнен в последующие 5 лет. В указанном выше обзоре Р. Стюарта на вопрос о том, были ли экономически оправданы эти работы, ответ «да» был определенно получен для ряда случаев. Более того, некоторые сервисные компании пришли к выводу о том, что полевые работы и последующая обработка данных МВС оказались вполне выгодными. В России последнее десятилетие характеризовалось весьма немногочисленными наземными исследованиями МВС, в то время как скважинная сейсморазведка (ВСП) полностью перешла на трехкомпонентные наблюдения, и использование в ней различных типов волн стало уже правилом, а не исключением. В условиях частного рынка, когда информация о результатах сейсморазведочных работ с трудом пробивает себе дорогу в общедоступные источники информации, любой пример успешного решения геологических задач с применением МВС становится весьма полезным,

особенно для тех скептиков, которые продолжают уповать лишь на применение продольных отраженных волн.

Начало XXI века за рубежом ознаменовалось значительными успехами в направлении развития технологий обработки данных МВС, в частности, - обработки записей на обменных отраженных волнах (R. Kendall, 2006). Однако ряд проблем, несмотря на успехи, остался не вполне решенным из-за их значительной сложности. На пути к получению результатов, характеризующихся высоким отношением сигнал/помеха при сохранении в сигналах высоких частот, продолжают оставаться следующие препятствия: выбор уровня приведения при формировании изображений среды, учет статики, подавление помех, учет азимутальной анизотропии и учет анизотропии при миграции во временной области до суммирования (anisotropic prestack time migration, сокращенно - PSTM). Все эти проблемы, причудливо переплетающиеся на всех стадиях обработки, проявляются при получении разрезов как итогового результата даже при небольшом повышении качества обработки на каждом из ее этапов.

Обе проблемы - выбор уровня приведения и учет статики за неоднородности в верхней части разреза – взаимосвязаны. Для целей последующей интерпретации существенно, чтобы оба разреза, полученных на *PP*- и *PS*- волнах, были увязаны между собой в части общего уровня приведения и положения отражающих границ на одних и тех же временах регистрации при изображении в виде временных разрезов или на одних и тех же глубинах в масштабе глубин.

Коррекцию статики считают ключевым и, вместе с тем, наиболее трудным шагом при обработке записей обменных отраженных волн (Kendall, 2006). Обменные волны много лет использовались для изучения параметров разреза и для формирования изображений среды, но лишь в самые последние годы были разработаны устойчивые процедуры для учета статики по обменным волнам. Статика для волн типа *PS* существенно отличается от статики для *PP*-волн. Ее величина может быть на порядок выше, чем для *PP*-волн. Из-за этого использование стандартных остаточных сдвигов нередко приводит к «перескакиванию на период» при прослеживании сигналов. Другое отличие состоит в том, что обычно записи обменных волн обычно зашумлены больше, чем волн продольных. Поэтому определение статических сдвигов по выборкам общей точки обмена является менее надежным. Кроме того, между статическими поправками по продольным и поперечным волнам наблюдается сложная взаимосвязь, и прогнозировать одну статику по другой довольно сложно. Одной из причин этого является существенно различная зависимость волн обоих типов от водонасыщенности ВЧР. Поэтому большинство методов оценки статики для *P*-волн не подходит для определения статики для обменных волн. Более того, некоторое различие в положении отражателей на полученных разрезах может быть обусловлено влиянием анизотропии и расщеплением поперечных волн на две волны – *PS1* и *PS2*. Поскольку первые вступления обменных волн отсутствуют, то приходится разрабатывать и использовать другие способы определения

низкоскоростной статики за точки приема для поперечных волн в пределах ВЧР (Grech, 2004; Jin et al., 2004).

При временной или глубинной *миграции обменных отраженных волн до суммирования* (PS-PSTM или PS-PSDM, соответственно) основная проблема состоит в сохранении амплитуд с целью последующей интерпретационной обработки по технологии AVO. До недавнего времени этому направлению уделялось гораздо меньше внимания, чем сохранению амплитуд при миграции на продольных отраженных волнах. По мере того, как МВС на суше и донные морские наблюдения становились все более распространенными, PSTM на обменных волнах становится более привычной процедурой. Все больше внимания в настоящее время уделяют результатам AVO на обменных отраженных волнах, а также совместной инверсии PP- и PS-волн, требующей сохранения амплитуд на всех этапах обработки. Однако лишь считанные публикации посвящены престоковой миграции Кирхгофа с сохранением амплитуд из-за сложностей учета статики и асимметрии лучей падающих и отраженных волн (Kristiansen P. et al., 2004; Miao X. et al., 2005; R.Kendall, 2006; Gaiser J. and Probert T., 2006 и др.). Задачей дальнейших исследований в данном направлении считают усложнение моделей путем введения в них параметров анизотропии и учета азимутальной анизотропии. Для обменных волн это тем более важно, что изображения, построенные по ним, более чувствительны к параметрам анизотропии по сравнению с изображениями на продольных волнах.

В качестве критерия достоверности модели, полученной на продольных и поперечных волнах, используют данные ВСП. Получает значительное развитие новое направление – *скважинно-наземная сейсморазведка*. Надежным критерием точности и эффективности любых алгоритмов миграции и результатов миграции на различных типах волн остается расчет синтетических сейсмограмм при известной модели и известных сейсмических скоростях (Gaiser J. and Probert T., 2006).

Проведенный анализ состояния вопроса и основных проблем обработки данных МВС приводит к выводу о том, что развитие технологии обработки в части выбранных в данной работе направлений продолжает оставаться и актуальным, и востребованным.

Глава 2. Учет неоднородностей ВЧР в многоволновой сейсморазведке.

Глава посвящена учету неоднородностей ВЧР в многоволновой сейсморазведке. Описаны особенности комплексного подхода к учету поверхностных неоднородностей при интерактивной методике анализа, развиваемой на протяжении длительного периода при творческом участии автора диссертации (Козырев В.С., Жуков А.П., Коротков И.П. и др., 2003; Korotkov et al, 2003; Kozyrev V., Zhukov Al., Korotkov I., Zhukov Ar., 2004; Коротков и Козырев, 2011).

Учет короткопериодной статики является основным объектом для автоматических способов коррекции, которые достаточно успешно

справляются с решением этой задачи. Недоучет такой статистики не влияет на определения геометрии сейсмических границ, но приводит к существенному снижению уровня сейсмических сигналов при их суммировании, особенно их высокочастотных компонент. Трудности учета статистики такого рода в МВС обусловлены тем, что величина временных сдвигов для обменных и, особенно, поперечных волн в несколько раз, а подчас и на порядок, превышает величину сдвига на продольных волнах. При этом длины волн при оценке статистики на поперечных и обменных волнах гораздо короче, чем на продольных волнах, а отношение сигнал/помеха ниже, чем на продольных волнах. Тем не менее, при учете короткопериодной статистики особых проблем в МВС не возникает.

Определение *средне- и длиннопериодной статистики* состоит в разделении поверхностного и глубинного факторов, поэтому ее решение охватывает и этап интерпретации. На этом этапе наряду с контролем высокоамплитудных короткопериодных сдвигов используют *интерактивную методику интерпретации*, нацеленную на выделение и контроль протяженных неоднородностей, с которыми связаны средне- и длиннопериодные компоненты. Значительные трудности их учета в МВС обусловлены тем, что аномалии статистики на обменных и поперечных волнах имеют большую амплитуду и более сложный характер по сравнению с продольными волнами.

Автором используется подход, опирающийся на концепцию *поверхностно-согласованных* временных сдвигов, которые однозначно привязаны к положению источника и приемника на двумерном профиле или на площади (в случае 3D исследований). Этот подход исходит из допущения вертикальности пути пробега волн в ВЧР, из которого следуют известные свойства статических поправок и неизбежные ограничения данного подхода: временные сдвиги, вызываемые ВЧР, не зависят от угла выхода волны и, соответственно, от взаимного положения источника и приемника, а также от глубины и наклона отражающей границы.

Допущение о том, что пересчет наблюдений осуществляется по гипотетическому лучу, пересекающему неоднородные слои ВЧР по вертикали, сильно упрощает вычисление временных сдвигов в ВЧР и вместе с тем обеспечивает хорошее приближение для реального луча, когда линия приведения совпадает с подошвой ЗМС, т.е. характеризуется большим перепадом скоростей. Распространение такого подхода на мощную верхнюю толщу требует предварительного обоснования путем расчетов для конкретной модели среды. Наиболее допустим принцип поверхностной согласованности в случае глубоких горизонтов, небольших удалений, малой мощности ВЧР и контрастного перепада скорости на ее подошве. При выдержанных скоростных характеристиках и мощности ВЧР разница времен пробега по реальному и вертикальному лучам плавно увеличивается с удалением, что отразится лишь на кинематических параметрах годографа.

На этапе коррекции поправок, когда ставится задача определения отклонений во временах пробега, общих для всех каналов, относящихся к одному источнику или приемнику, допущение о вертикальности лучей в ВЧР

уже не требуется. Тем самым отличие реальной задержки, вызываемой неоднородностью, от расчетного значения по вертикали будет учтено. С точки зрения учета неоднородностей существенно не само отличие путей пробега в ВЧР от вертикали, а различие путей пробега в пределах неоднородности для разных каналов.

Если мощность ВЧР велика при малом перепаде скоростей на ее подошве, а изменения мощности отложений ВЧР или скоростей в них резки, то могут потребоваться специальные приемы при вводе статических поправок или другие способы учета неоднородностей. Такая ситуация возникает при работах на обменных волнах, когда для отражений на продольных и обменных волнах имеет место различие нисходящих путей пробега, приводящее к необходимости введения различных поправок за источник. Одно из возможных решений в таком случае – *сегментация записей по удалениям либо по удалениям и временам*, что эквивалентно разбиению по секторам углов выхода лучей. При таком походе требуется расчет лучей, для чего необходимо знание модели среды, предпочтительно по данным ВСП. Тогда в пределах каждого сегмента или углового сектора статические поправки можно считать полностью поверхностно-согласованными.

Временные сдвиги в достаточно мощной ВЧР обладают чертами как статических, так и кинематических сдвигов. Эти сдвиги определяются положением ПВ и ПП, как статические поправки, но, с другой стороны, зависят от угла подхода, и, следовательно, от удаления и времени регистрации, - как кинематические поправки. Роль кинематической части усиливается с увеличением мощности и глубины неоднородностей и в длиннопериодных составляющих становится преобладающей.

Неточности модели ВЧР, а также погрешности подхода, опирающегося на предположение о вертикальности лучей в ВЧР, ведут к ошибкам первичных статических поправок. Однако информация о временных сдвигах, вызываемых неоднородностями, содержится во временных сдвигах непосредственно самих отражений. Обоснованный вывод о том, что единственным надежным источником информации об искажениях годографов отраженных волн может быть только само волновое поле, ранее был сделан Г.А.Захаровой (1989,1995), причем применительно к такому сверхсложному району, как Восточная Сибирь. К настоящему времени возможности выявления средне- и длиннопериодных составляющих оказались хорошо исследованы. Данная работа осуществляет дальнейшее развитие в направлении интерпретационных технологий, охватывающих стадии коррекции поправок и интерпретации, позволяющих использовать в полной мере всю информацию, заключенную в сейсмических данных, совместно с априорной информацией о ВЧР и глубинной геологии в сочетании с опытом интерпретатора.

Один из наиболее эффективных способов коррекции статики, развиваемых автором, основан на *включении операции суммирования трасс по поверхностно-согласованным позициям непосредственно в процесс*

определения временных сдвигов. Поскольку целью коррекции статических поправок является повышение когерентности отраженных сигналов, то естественным при определении статических сдвигов является привлечение критериев, отражающих меру подобия трасс в суммируемых выборках, - коэффициентов взаимной корреляции для всех пар трасс подборки, средней энергии суммарных сигналов и др. Весьма эффективными оказались алгоритмы, основанные на подборе таких временных сдвигов, которые обеспечивают максимизацию энергии суммарной трассы.

Методика интерактивной коррекции статики, опирающаяся на широкое использование специальных сумм при поверхностно-согласованном суммировании, предполагает распознавание временных аномалий, вызванных поверхностными и глубинными факторами. Она опирается на следующие принципы:

- разделение влияния поверхностного и глубинного факторов во временах отражений;
- разделение временных сдвигов, связанных с точками возбуждения и приема;
- привлечение данных по волнам в первых вступлениях и всей возможной априорной информации, характеризующей верхнюю часть разреза, для выделения зон поверхностных неоднородностей.

Основным ограничением согласованных по ОТВ и ОТП сумм, используемых в стандартных технологиях, является невозможность разделять с их помощью протяженные аномалии, связанные с приемниками и источниками, и изолировать друг от друга соответствующие статические поправки; кроме того, такие схемы суммирования не применимы для 3D съемок. Эти ограничения преодолеваются путем использования схемы согласованного суммирования с фиксированной базой, модифицированной автором для случая 3D наблюдений.

Частично-кратные разрезы ОТВ и ОТП могут быть получены в случае 2D съемки суммированием в заданном диапазоне удалений либо с применением пространственно фиксированных баз суммирования (Spatially Fixed Pattern – SFP). Разрезы, опирающиеся на использование SPF-сумм ОТВ и ОТП специального вида помогают разделять аномалии, связанные с приемниками и источниками, и изолировать друг от друга соответствующие статические поправки. В случае 3D съемки техника формирования специальных сумм (схема SFP суммирования) представляется единственно возможной для получения поверхностно-согласованных кубов ОТП и ОТВ.

Суть предложенного автором нового подхода, положенного в основу схемы суммирования SFP, состоит в фиксировании определенного количества приемников или источников, относящихся к т. н. *базе суммирования*, расположенной на линии профиля или в пространстве при выполнении непосредственно акта суммирования. При этом диапазон удалений, включаемых в суммирование, может, в отличие от стандартных

схем, варьироваться. Другим существенным отличием сумм SFP является фрагментарность получаемых разрезов, в которых каждый фрагмент не может превышать длину расстановки и сдвинут на постоянную величину, являющуюся суммарной статической поправкой за фиксированную в пространстве базу суммирования. Такой постоянный сдвиг легко устраняется в интерактивной системе интерпретации и в результате конструируется разрез ОТВ или ОТП, в котором изолировано взаимное слияние статических поправок за пункты приема и возбуждения колебаний. В отличие от стандартных сумм ОТВ и ОТП, при которых получают набор разрезов в различных заданных диапазонах удалений, в случае использования сумм SFP получают разрезы при различном расположении баз суммирования в пространстве. Как правило, базы суммирования располагают в пределах аномалий и, с некоторым сдвигом, вне аномальных зон.

Разработанная методика включает следующие этапы (в работе эти этапы рассмотрены подробно):

1. Анализ априорной информации о поверхностных условиях и ВЧР.
2. Определение кратности и диапазонов удалений, а также систем фиксированных баз источников и приемников при выборе схем поверхностно-согласованного суммирования.
3. Получение совокупности временных разрезов, а в 3D – кубов суммарных трасс ОТВ, ОТП, ОГТ и ОТО (общих точек обмена), необходимых для анализа.
4. Анализ временных разрезов или сечений кубов ОТВ, ОТП, ОГТ, ОТО по линиям источников и приемников, временных срезов кубов ОГТ и ОТО, выделение зон поверхностно-согласованных временных аномалий.
5. Совмещение разрезов по общим средним точкам (общим точкам обмена) и первоначальная оценка структурного фактора с учетом априорной информации.
6. Совмещение разрезов в поверхностно-согласованном варианте и оценки отклонений времен от структурного фактора как статических аномалий с учетом априорной информации.
7. Уточнение оценок структурного и статического факторов, возможно с проведением дополнительных суммирований с привлечением дополнительной информации на участках, где разделение факторов вызывает сомнение.

Существенная особенность разработанной методики – это ее *итеративность*. Задачей первой итерации при сложном строении ВЧР является выделение основных зон неоднородностей или блоков с грубой оценкой их границ и уровня временных сдвигов в их пределах. В последующих итерациях модель временных задержек, вызываемых ВЧР, уточняется и насыщается более мелкими деталями. После одного-двух этапов интерактивной коррекции сейсмический материал по характеру временных сдвигов приближается к моделям, заложенным в программах автоматической коррекции. Тем самым на заключительных этапах коррекции

в полной мере могут быть применены автоматические процедуры, рассчитанные на определение таких статических составляющих, как короткопериодные и малоамплитудные среднeperиодные.

Изменение в процессе интерактивной итеративной коррекции или интерпретации представлений о форме отражающих границ может потребовать возвращения к этапу выделения зон неоднородностей и разделения поверхностного и глубинного факторов. Это может также иметь место после обработки и интерпретации данных по другим профилям и увязки материалов по площади.

Описанные этапы интерактивной коррекции были положены в основу специального программного обеспечения – автономного комплекса ISA (Interactive Static Analysis) 2D/3D (IST-3MP), который является достаточно универсальным и может быть использован при обработке материалов МВС в различных системах. Этот комплекс обеспечивает: подготовку данных к коррекции (улучшение отношения сигнал/помеха; выбор схем суммирования, например, системы фиксированных баз в 2D и 3D; получение временных разрезов, кубов трасс в 3D; скоростной анализ в заданных ОСТ и по горизонтам; сопоставление и анализ различных вариантов разрезов и сечений кубов, а также сейсмограмм, и их совмещение по разным шкалам (в частности, в поверхностно-согласованном варианте или с согласованием по средним точкам отражения); прослеживание осей синфазности, подвижки во времени трасс и блоков трасс и др. Существенно, что в данном комплексе реализовано специализированное программное обеспечение, обеспечивающее формирование сумм SFP, причем для наиболее важного случая - 3D наблюдений.

Опробование методики интерактивной коррекции на обширном экспериментальном материале и на модельных записях показало, что она позволяет различать аномалии, вызванные приповерхностными скоростными неоднородностями и истинными структурными деформациями при наблюдениях на монотипных и обменных отраженных волнах. Установлено, что этап интерпретации является необходимым для изучения поведения аномалий на частично-кратных разрезах с целью определения истинной природы аномалии. Показано, что поверхностное происхождение аномалии выражается латеральным сдвигом при сравнении разрезов ОТВ, ОТП в ближних и дальних удалениях в области ОСТ (ОТО для обменных волн), различиями в форме аномалии на частично кратных разрезах ОСТ (ОТО), знакопеременными аномалиями скоростей суммирования. При отсутствии этих признаков временная аномалия может считаться структурной. При правильной классификации аномалий более четко изображаются истинные разрывные нарушения, устраняются ложные субвертикальные временные сдвиги, связанные с переходами на фазу на границах поверхностных аномалий и часто принимаемые за тектонические подвижки. Разработанная методика применима при отсутствии или недостатке данных прямых измерений скоростей ВЧР и позволяет избежать вреяземкого процесса построения часто неоднозначной скоростной модели ВЧР.

Глава 3. Построение скоростной модели среды и формирование ее изображения путем миграции по Кирхгоффу на обменных отраженных волнах.

Глава посвящена построению скоростной модели и формированию изображения геологической среды путем миграции по Кирхгофу по обменным отраженным волнам. В ней описан предложенный автором подход к интерактивной фокусировке волн разных типов, опирающийся на анализ спектров скоростей и позволяющий повысить точность построения глубинной модели.

Разработанный при творческом участии автора подход включает в себя совместный анализ средних и интервальных скоростей миграции волн PP и PS по подборкам трасс с учетом асимметрии лучевой схемы для волн PS. Затем осуществляются временная и глубинная миграции до суммирования по сейсмограммам ОТВ с целью улучшения прослеживаемости горизонтов и повышения достоверности отображения отражающих объектов по волнам разных типов (Жуков, Коротков и др., 2010).

Для решения поставленных задач используется *классическая миграция (временная и глубинная) по традиционным алгоритмам Кирхгофа*, адаптированным к особенностям распространения обменных волн типа PS. Предпочтение алгоритмам данного класса было отдано, главным образом, потому, что при их применении в условиях небольших углов наклона и отсутствия резких изменений скорости по латерали в большей степени сохраняется соотношение амплитуд. Поэтому после пересчета этих данных во временную область они могут использоваться для атрибутного анализа и инверсии по суммарным кубам.

Традиционные подходы к обработке данных обменных волн во временной области требуют учета неопределенности пространственного положения точек обмена, обусловленного асимметрией лучей.

До настоящего времени не существует устоявшегося графа обработки записей обменных волн, принятого на вооружение производителями. Чаще всего используют так называемое «асимптотическое приближение», в котором должно быть задано отношение средних скоростей V_p и V_s (Behle A. and Dohr G., 1985). При определении скоростей суммирования и приведении к вертикальным временам используют гиперболические аппроксимации (Castle, 1988; Tsvankin, 1994). Обработка *во временной области* выглядит весьма сложной и приблизительной по сравнению с обработкой *в глубинной области*, особенно при глубинной миграции перед суммированием. Такая обработка предполагает предварительное задание скоростей V_p и V_s , знание которых снимает ограничения, связанные с неопределенностью точек обмена.

В отличие от традиционных подходов, разработанный нами подход не требует определения положения общих точек обмена. Для решения задачи

формирования скоростных моделей для миграции обменных волн был реализован подход, основанный на непосредственном анализе средних и интервальных скоростей миграции во временной и в глубинной областях. При формировании изображения обменных волн используют две скоростных модели – падающих и восходящих волн.

На первом этапе определяется или задается (по результатам предварительной обработки) модель скоростей для падающих P волн. На втором этапе определяются скорости для восходящих S волн при неизменных скоростях падающих волн.

Технология заключается в интерактивном анализе скоростей миграции, включающего в себя прямую фокусировку динамически меняющегося изображения монотипных и обменных волн. Сканирование скоростей и интерактивный анализ изображений в режиме реального времени стали возможными благодаря высокой производительности вычислительных средств и оптимизации алгоритмов миграции.

Для *временной миграции* анализируются средние скорости путем *вертикального анализа*. Критериями при выборе оптимальной скорости служат степень спрямления отражений на динамически изменяющейся сейсмограмме общей точки отражения (ОТО) и максимум функции вертикального сембланса.

В случае *глубинной миграции* анализируются горизонтальные спектры интервальных скоростей вдоль опорных горизонтов. При этом критериями выбора скорости служат качество изображения (фокусировки) горизонтов на разрезах после их глубинной миграции и максимизация энергии на горизонтальном семблансе. Дополнительным контролем достоверности полученных скоростных оценок служит сравнение значений глубин отражений на мигрированном разрезе с данными ВСП или отметками в скважинах.

В случае сложной геометрии объекта изображения целесообразно применять вариант с анализом интервальных скоростей в глубине и последующей глубинной миграцией до суммирования. При этом определения интервальных скоростей проводят последовательно – от границы к границе с анализом изменений вдоль горизонта и геометрии границ (метод послойного снятия).

Методика формирования изображений (миграция) записей МВС в случае ориентированных компонент монотипных поперечных волн включает в себя весь спектр хорошо разработанных алгоритмов для продольных волн. В этом случае повышенные требования предъявляются, в основном, к учету больших по значению статических сдвигов, которые могут недостаточно корректироваться стандартными алгоритмами, и повышению отношения сигнал/шум.

В то же время существует недостаток в подобном математическом обеспечении для случая обменных отраженных волн.

Для восполнения этого недостатка и реализации технологии было разработано программное обеспечение в виде дополнительных модулей к

промышленной системе обработки (ProMAX). Данное ПО состоит из трех основных модулей :

- модуль интерактивного анализа скоростей миграции;
- модуль преломлений миграции во временной и глубинной областях;
- модуль интерактивного отождествления отражений PP и PS с оценкой γ .

Суммирование для каждой точки мигрированного разреза проводится в зоне касания годографа дифрагированной в этой точке волны, и возможного годографа волны, отраженной от гипотетической границы, проходящей через ту же точку в заданном диапазоне углов. При этом необходимо в качестве входного параметра указать априорные значения видимой частоты колебаний. При наличии в среде мощных дифрагирующих объектов следует задавать суммирование по всей приемной установке. Последовательность сейсмограмм ОТО получают путем сложения изображений сформированных аналогичным образом по всему набору сейсмограмм ОПВ. При этом значительно ослабляется влияние различного рода помех, шумов преобразования и краевых эффектов, поскольку изображения реальных отражающих границ совпадают, а помехи занимают различные положения.

Перед глубинной преломлений-миграцией, являющейся одной из основных процедур обработки записей в многоволновой сейсморазведке, ставится задача точного отображения геологической среды путем максимального учета неоднородностей скоростной модели, расположенных в приповерхностной зоне и более глубоких частях покрывающей толщи разреза. При этом важным требованием является сохранение и выделение рассеянных компонент волнового поля, приуроченных к макротрещинам и тектоническим нарушениям, а также к зонам повышенной микрон неоднородности, связанными с трещиновато-кавернозными коллекторами.

Методы построения скоростных моделей для глубинной миграции до суммирования продольных отраженных волн развиваются достаточно давно и представлены в широко распространенных зарубежных коммерческих пакетах, предназначенных для построения изображений (например, Geo Depth). Поэтому имеет смысл использовать эти хорошо разработанные подходы для построения изображений, т.е. оценивать скоростные модели и выполнять миграционные преобразования для случая монотипных волн.

Таким образом, разработанный при участии автора оригинальный инструмент анализа скоростей миграции и оптимального фокусирования волн разных типов позволяет осуществлять:

- Интерактивный анализ скоростей миграции, при котором появляется возможность определения скоростной модели для монотипных и обменных волн.
- Миграцию (временную или глубинную) по обменным отраженным волнам до суммирования с использованием полученной на этапе анализа скоростной модели по волнам PP и SS, что дает возможность

построить адекватное изображение среды и улучшить прослеживание горизонтов по PS волнам за счет оптимизации суммирования.

- Контроль за отождествлением объектов отражения/обмена на разрезах волн различного типа.

Разработанный подход к формированию изображений среды на обменных отраженных волнах типа PS был адаптирован к обменным волнам типа PSSS, испытывающим обмен на промежуточной резкой границе, расположенной в покрывающей толще (Шехтман, Кузнецов, Жуков, Коротков и Бурлаков, 2006). Такие волны заслуживают внимания по следующим причинам:

- В отличие от волн PS, их лучи практически симметричны, поэтому при проектировании систем наблюдений, а также при обработке материалов можно после несложной адаптации использовать стандартные подходы и пакеты обработки, предназначенные для монотипных волн.
- В отличие от чисто поперечных отраженных волн типа SV, волны PSSS являются более высокочастотными, поэтому разрезы, полученные путем их миграции, отличаются более высокой разрешенностью.
- При возбуждении волн PSSS погружным источником выбор оптимальной глубины источника позволяет, в отличие от волн SV, получить более широкий спектр возбуждаемых частот.
- Регистрация волн PSSS на временах, свободных от интерференции обменных волн более сложного типа, позволяет получить более достоверные разрезы на этих волнах.
- Регистрация волн PSSS на закритических расстояниях, как это следует из расчетов для различных моделей, позволяет добиться превышения их интенсивности над волнами PS. Тем самым основное преимущество волн PS – их более высокая интенсивность по сравнению с другими обменными волнами при докритических расстояниях – перестает быть решающим.

Обменные отраженные волны типа PSS можно непосредственно увидеть на сейсмограммах ВСП и убедиться в том, что по интенсивности они сопоставимы с отраженными волнами типа PS. Физически возможные волны типа PSSP в позиционных наблюдениях на земной поверхности, и особенно на море, обладают рядом таких преимуществ перед волнами типа PS, что попытка привлечения их в качестве полезных волн представляется очень заманчивой. Преимущества эти следующие: статические поправки такие же, как и для волн PP, так что не требуется информации о скоростях поперечных волн в верхней части разреза; лучевая схема у этих волн симметрична, при этом выдерживается принцип взаимности; на море их можно регистрировать не только при донных наблюдениях, но и датчиками давления, при этом обменные волны, распространяющиеся на последнем участке пути как поперечные, будут на записи отсутствовать; область регистрации волн такого типа, отраженных от глубоких объектов, будет расположена вне зоны интерференции с обменными волнами типа PS.

Полученные впервые разрезы МОГТ на обменных отраженных волнах типа PSSS вполне согласуется с разрезами на других типах волн. На рис. 1 в качестве примера приведен фрагмент этого разреза, полученного в ООО «ГСД» при обработке материалов ОАО «Пермнефтегеофизика» по методике, разработанной автором.

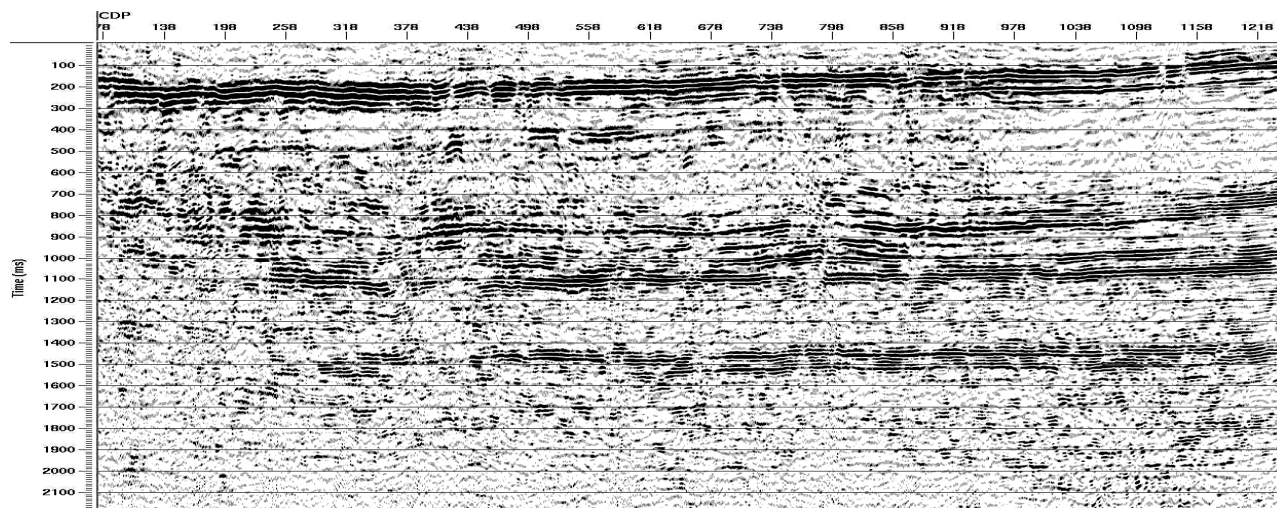


Рис. 1. Временной разрез, полученный путем миграции обменных волн типа PSSS.

Глава 4. Результаты производственного опробования технологии формирования изображений среды по данным многоволновой сейсморазведки в условиях сложно построенной покрывающей толщи.

В главе приводятся примеры успешного применения разработанной методики интерактивной коррекции статических поправок и технологии формирования изображений среды по обменным отраженным волнам в условиях сложно построенных сред. Показано, что в результате применения разработанной технологии получены качественно новые сведения о геологическом строении участков, расположенных в Восточной Сибири и в других сложно построенных районах.

Методика интерактивного статического анализа была опробована первоначально для монотипных волн.

При участии автора успешные результаты применения методики интерактивной коррекции статических поправок получены 10 лет назад при работах на Аравийском полуострове (Pechlols P., La Franiere L., Hubbel S., Kozyrev V., Korotkov I., Zhukov A., 2001).

В условиях Западной Сибири неоднократно были получены убедительные примеры выделения статических аномалий в районах неоднородной зоны вечной мерзлоты. Эффективность применения разработанной методики объясняется здесь тем, что использование волн в первых вступлениях для расчета статических поправок недостаточно надежно, поскольку высокоскоростные слои мерзлоты экранируют преломленные волны от более глубоких горизонтов, что может привести к

искаженному представлению о модели среды. И лишь качественный анализ вступлений и всей волновой картины, включая характер помех, может помочь выделить и классифицировать во многих случаях участки с пониженными и повышенными скоростями распространения волн в ВЧР. Такое предварительное качественное определение участка возможной неоднородности облегчает интерпретацию разрезов поверхностно-согласованного суммирования, а также выделение по ним протяженных статических аномалий, которые не учитываются при коррекции короткопериодных составляющих сдвигов с помощью автоматических процедур.

В Восточной Сибири, характеризующейся присутствием в ВЧР высокоскоростных пластовых интрузий (траппов), временные сдвиги в зоне траппов достигают нескольких десятков миллисекунд. Стандартная обработка в этих условиях приводит к формированию характерного кулисообразного поведения осей синфазности. Автоматическая же коррекция статики приводит к формированию ложных осей синфазности, которые маскируют двойные ступени в краевых частях аномалии. Частичные суммы ОСТ при этом не совпадают. И лишь интерактивный статический анализ формы отражений на временах регистрации, представляющих разведочный интерес, приводит к существенному улучшению прослеживаемости горизонтов и стабильности связанных с этими горизонтами спектров скоростей.

Рассмотрим пример обработки и интерпретации данных МВС по одной из площадей Восточной Сибири, где работы по МВС носили разведочно-рекогносцировочный характер, причем априорная петрофизическая модель практически отсутствует. Данные по волнам типа PS отличались здесь слабой энергией и невысокой регулярностью из-за сложных сейсмогеологических условий и неоптимальности системы сбора данных МОГТ для обменных волн. Обработка данных проводилась в ООО «ГСД» под руководством и при личном участии автора.

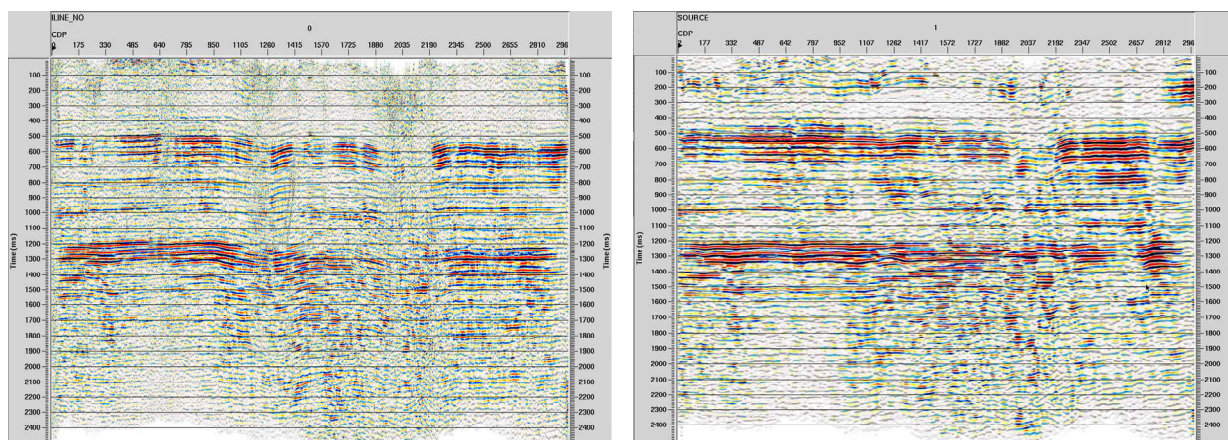


Рис. 2. Сравнение результатов учета неоднородной ВЧР для обменных волн автоматическим (слева) и интерактивным (справа) способами.

При этом уже имелся опыт аналогичной обработки, состоящей в коррекции статики и улучшении прослеживаемости целевых отражающих горизонтов по волнам PS при изучении венд-рифейского комплекса Русской платформы технологией 2D-9C (Кузнецов, Шехтман, Коротков и др., 2006). На рис. 2. показаны разрезы PS волн после автоматической и интерактивной коррекции статики. На разрезе после интерактивной коррекции статпоправок наблюдается существенное улучшение изображения в результате корректного учета ВЧР для обменных волн.

Результаты миграции до суммирования по продольным и обменным отраженным волнам во временной и глубинной областях показаны на рис. 3 и рис. 4.

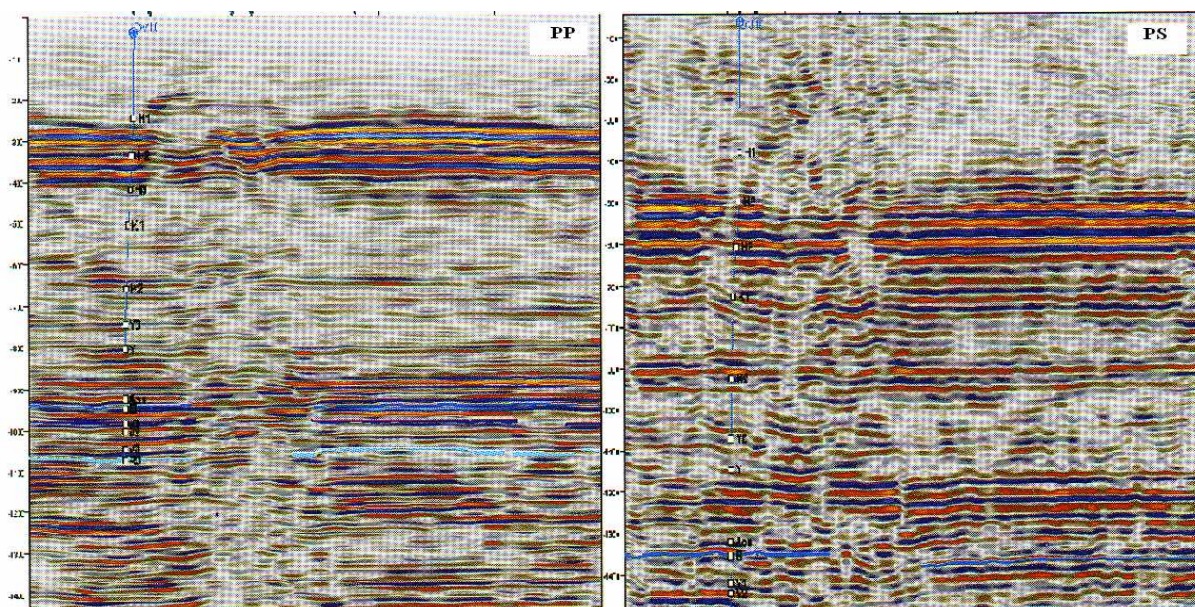


Рис. 3. Сравнение результатов миграции до суммирования по продольным и обменным отраженным волнам во временной области.

Можно видеть, что качество прослеживаемости некоторых горизонтов на обменных волнах выше, чем на продольных волнах. Этого удалось достичь, несмотря на то, что при обработке записей обменных волн проблем со статикой и повышением отношения сигнал/помеха было гораздо больше, чем при обработке записей на продольных волнах.

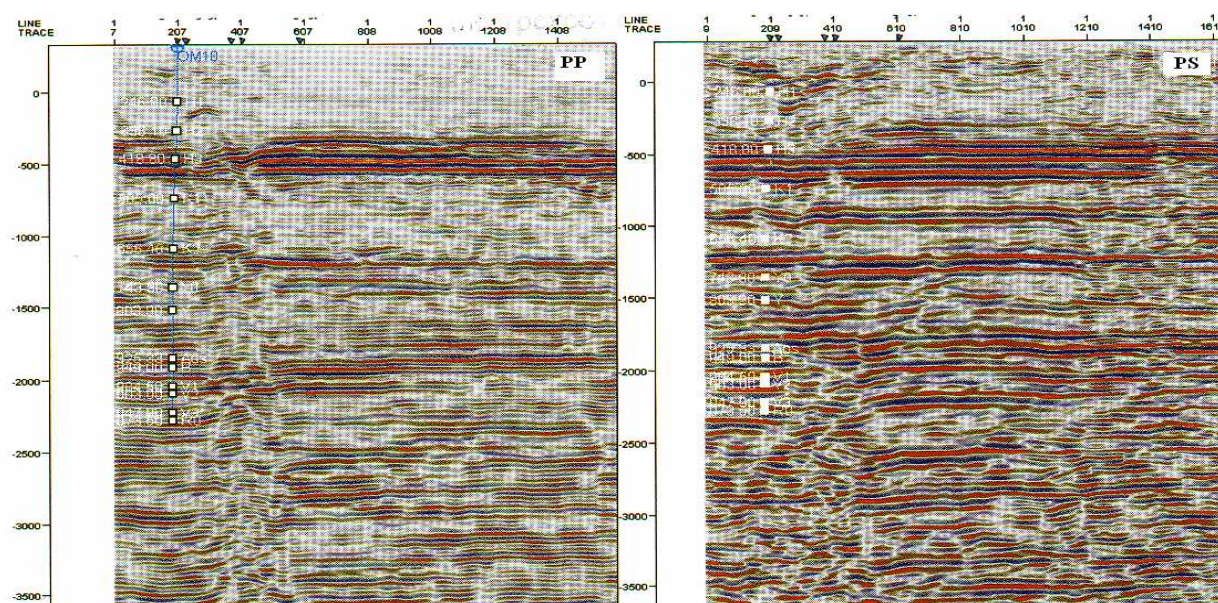


Рис. 4. Сравнение результатов миграции до суммирования по продольным и обменным отраженным волнам в глубинной области.

Заключение

Основные результаты работы могут быть сформулированы следующим образом:

1. Разработана и успешно опробована методика интерактивного учета неоднородной ВЧР при определении статических поправок для монотипных поперечных и обменных волн. Показана ее более высокая эффективность по сравнению со стандартными методами.
2. Разработана и успешно опробована оригинальная технология интерактивного анализа скоростей миграции и оптимального фокусирования волн разных типов до суммирования, предназначенная для построения и уточнения скоростных моделей.
3. Разработанная технология построения временных и глубинных изображений, а также параметризации данных МВС, успешно опробована в производственном режиме в условиях сложно построенных сред.
4. Разработанная технология позволяет проводить обработку данных наземной МВС в производственном режиме с использованием специализированного пакета учета неоднородной ВЧР и дополнительных процедур к широко распространенным обрабатывающим комплексам стандартной обработки.

5. Применение разработанной технологии позволило получить качественно новые сведения о геологическом строении участков, расположенных в Восточной Сибири и в других сложно построенных районах.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

Статьи

Коротков И.П., Козырев В.С. Применение метода интерактивной коррекции статических поправок для повышения достоверности геологической интерпретации. – Технологии сейсморазведки, **2**, 2011, 13-22.

Кузнецов В.М., Шехтман Г.А., Коротков И.П., Бурлаков А.В., Саловский В.А. Пример изучения венд-рифейского комплекса русской платформы технологией 2D-9C (MBC). – Технологии сейсморазведки, **4**, 2006, 17-23.

Шехтман Г.А., Кузнецов В.М., Жуков А.П., Коротков И.П., Бурлаков А.В. Расширение типов волн, используемых в сейсморазведке: предпосылки и результаты. – Технологии сейсморазведки, **3**, 2006, 30-34.

Жуков А.П., Коротков И.П., Нурмухамедов Т.В., Кузнецов В.М., Попов В.В. Разработка программного обеспечения для 2D-миграции до суммирования и скоростного анализа для монотипных и обменных волн на основе применения интеграла Кирхгофа. – Приборы и системы разведочной геофизики, **4**, 2009, 14-17.

Kozyrev V., Zhukov Al., Korotkov I., Zhukov Ar. An interactive solution for resolving mid-wavelength static anomalies // The Leading Edge, 2004, V. 23, No. 3. P. 270-274.

Монография

Козырев В.С., Жуков А.П., Коротков И.П., Жуков А.А., Шнеерсон М.Б. Учет неоднородностей верхней части разреза в сейсморазведке. Современные технологии. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003 – 227 с.

Тезисы

Korotkov I., Kozyrev V., Zhukov A. An interactive 3D method for resolving of static anomalies caused by heterogeneous permafrost // 65th Conference EAGE: Extended abstracts. 2003. P 073.

Pechlols P., La Franiere L., Hubbel S., Kozyrev V., Korotkov I., Zhukov A. Spatially fixed patterns illuminate unresolved static anomalies // 71st Ann. Internat. Meeting SEG, Expanded abstracts. – 2001. – P. 1925-1928.